

Filtterelement und Verfahren zu dessen HerstellungBeschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Filtterelement, insbesondere einen Membranfilter, und ein Verfahren zu dessen Herstellung.

Filterverfahren lassen sich im wesentlichen zunächst in eine sog. Kuchenfiltration, Tiefenfiltration sowie Oberflächenfiltration unterteilen. Während bei der Kuchenfiltration ein sich auf einer relativ groben Unterlage bildender Filterkuchen die Filtration übernimmt und bei der Tiefenfiltration die überwiegende Filtrationswirkung mechanisch und adsorptiv im Innern eines Filtermediums stattfindet, erfolgt bei der Oberflächenfiltration die überwiegende Filtrationswirkung mechanisch durch Abtrennen von z.B. Feststoffpartikeln auf der Oberfläche eines Filtermediums, wie z.B. eines Filtterelements.

Das Filtterelement gemäß der vorliegenden Erfindung betrifft die Oberflächenfiltration, bei der die Anströmung des Filters entweder im wesentlichen senkrecht zur Filteroberfläche

(sog. "statische" oder auch "Dead-end-Filtration") oder im wesentlichen parallel zur Filteroberfläche (sog. "Crossflow-Filtration") stattfinden kann.

Bei der statischen Filtration bildet das Retentat (die zurückgehaltenen Stoffe) im Laufe der Filtration einen sog. Filterkuchen, in dem zunehmend Tiefenfiltration stattfindet und der den Filterdurchsatz im Laufe der Zeit reduziert. Der Kuchenbildung wird meist u.a. durch oberflächenparallele Überströmung des Filtermediums und/oder Rückspülung durch das Filtermedium entgegengewirkt.

Für die Oberflächenfiltration eignen sich besonders Membranfilter. Heutzutage überwiegend eingesetzte Membranfilter weisen z.B. Polymermembranen (z.B. aus Polyester, PP-Polyester, PVDF = Polyvinylidenfluorid etc.) oder keramische Membranen (z.B. aus Zirkoniumoxid, SiC, Si₃N₄, Al₂O₃, etc.) auf. Derartige Membransysteme weisen allerdings zahlreiche Nachteile auf. So ist deren Verteilung des "Parendurchmessers" verhältnismäßig breit, was keine gute sog. Trennschärfe der Membran zur Folge hat. Eigentlich zurückzuhaltende Stoffe können dann die Membran passieren. Bei keramischen Membranen trifft man außerdem auf das Problem des verhältnismäßig geringen Durchsatzes, da bei diesen verhältnismäßig lange "Poren" (im Vergleich zu den "Parendurchmessern"; also eher Kanäle) mit hohem Strömungswiderstand vorhanden sind. Darüber hinaus sind solche Membranfilter hinsichtlich chemischer Beständigkeit und Temperaturbeständigkeit beschränkt. Bei einigen der erwähnten Membransysteme kommt wegen der verhältnismäßig unebenen bzw. rauen Membranoberfläche noch das Problem einer leichten Kuchenbildung (selbst im Crossflow-Betrieb) hinzu. Einige der genannten Membransysteme sind darüber hinaus hinsichtlich des maximalen Differenzdruckes über die Membran (und damit hinsichtlich einer Erhöhung des Durchsatzes über eine Erhöhung des Differenzdruckes) beschränkt.

In den letzten Jahren wurden Membranfilter auf der Basis von z.B. Si bzw. SiO_2 , Si_3N_4 etc. vorgeschlagen, die mit Hilfe von Ätz- und Lithographieverfahren hergestellt werden.

Ein Beispiel hierzu ist in dem Patent US 5,543,046 beschrieben. Hier wird ein Verfahren zur Herstellung einer anorganischen Membran beschrieben, die auf einem makroporösen Träger mit einer zunächst dazwischen angeordneten "flattening layer" durch z.B. CV- oder Sputterverfahren aufgebracht wird. Statt der "flattening layer" wird in einer alternativen Ausführungsform auch ein mechanischer Polierprozeß erwähnt. Die "flattening layer" wird nach Ausbildung der Poren entfernt.

Ein weiteres Beispiel ist in dem Patent US 5,753,014 beschrieben. Hier werden ein Membranfilter und ein Verfahren zu dessen Herstellung beschrieben, bei dem der makroporöse Träger auch aus einem anorganischen Material, wie z.B. Si, SiC, Al_2O_3 etc., bestehen kann. Die Membran kann auch hier aus Polytetrafluorethylen (PTFE), Si, C, Si_3N_4 , ZrO_2 , Al_2O_3 , einem Metall oder z.B. Stahl bestehen. Auch bei diesem Verfahren werden die Poren in die Membranschicht geätzt mit Hilfe von Techniken, wie sie z.B. aus der Halbleitertechnik seit langem bekannt sind. Nach Ausbildung der Poren wird durch vollständiges rückseitiges Ätzen der Trägerschicht die Membran freigelegt. In einer alternativen Ausführungsform kann die Trägerstruktur auch vor der Herstellung der Membran gebildet werden. Zur Verringerung der Spannungsbeanspruchung zwischen Membranschicht und Träger sowie deren besseren Verbindung wird ggf. eine Zwischenschicht, wie z.B. Borax, Chrom, Nickel o.ä., genutzt. In diesem Patent wird auch ein Porenfüllmaterial, wie z.B. Polysilicium, Aluminium etc., beschrieben, das am Ende wieder entfernt werden muß. In einer Ausführungsform wird mittels eines Druckverfahrens ("imprint"- und "lift-off"-Technik) mit Hilfe einer Druckform eine Polyamidschicht als Maskenschicht für die Membranschicht strukturiert oder in einer anderen Ausführungsform die

strukturierte Polyamidschicht selbst als Membranschicht genutzt.

Bei der US 5,139,624 werden die Poren naßchemisch hergestellt.

Allgemein ist zu bemerken, daß Filterelemente aus mindestens 2 Schichten (einer Trägerschicht und einer Membranschicht) das Problem haben, daß die Beschichtungsverfahren meist überwiegend oder vollständig amorphe Schichten liefern, was für die mechanische Festigkeit nachteilig ist.

Derzeit oft als Membranschicht genutztes Material ist Si_3N_4 . Der Stand der Technik zeigt aber, daß eine über größere Kristallkeime hinausgehende innere kristalline Struktur der Si_3N_4 -Membranschicht bei Temperaturen unterhalb etwa 1400°C bislang kaum erreicht werden kann. Der aktuelle Stand liegt auf Labor- und Experimentniveau. Die Trägerstrukturen der Filterelemente bestehen meist aus Si, dessen Schmelztemperatur bei 1420°C liegt. Das zur Erzeugung eines hohen kristallinen Anteils notwendige Erhitzen/Glühen von Si_3N_4 würde daher die Trägerstruktur schädigen oder gar zerstören.

Die Herstellung sehr dünner Membranen ($< 1 \mu\text{m}$) bei Poredurchmessern von $< 1 \mu\text{m}$, die allerdings gegen verhältnismäßig hohe Drücke ($> 1 \text{ bar}$) stabil sind, ist mit Hilfe der bisher bekannten Verfahren schwierig und ausschüßanfällig. Die Beschränkung bzgl. der Druckbelastbarkeit, die auch mit der jeweiligen Porosität und Membrandicke zusammenhängt, macht die Filtration mit hohem Durchsatz teuer.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, einen Membranfilter und ein Verfahren zu dessen Herstellung zu schaffen, die die oben erwähnten Nachteile vermeiden. Insbesondere soll ein Filterelement geschaffen werden, das bei hohem Durchsatz mechanisch stabil ist und Druckbelastungen einschließlich

Druckschwankungen über eine lange Standzeit aushält.

Diese Aufgabe wird durch die in den Patentansprüche 1 und 24 angegebenen Merkmale gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

Eine Verbesserung der mechanischen Belastbarkeit des Filterelements kann erreicht werden durch:

1. eine günstige Geometrie der Membran,
2. eine Erhöhung der mechanischen Belastbarkeit bzw. der Festigkeit des Membranmaterials durch
 - 2.1. eine innere Vorspannung der Membran und
 - 2.2. Kristallstrukturen im Membranmaterial, sowie
3. Verdichten des Membranmaterials.

Eine generelle Lösung besteht darin, die Membranschicht aus einem Material herzustellen, das bei Temperaturen unterhalb der Schmelztemperatur des Trägermaterials (im Fall von Si unterhalb von ca. 1400°C) einen ausreichend hohen kristallinen Anteil (> 50%) erreicht. Hierfür bietet sich (insbesondere) SiC an.

Bei Si_3N_4 setzt bei verhältnismäßig hohen Temperaturen Kristallbildung ein. So kann bei einer Temperatur oberhalb ca. 1400°C ein Kristallisationsgrad von über 90% beobachtet werden. Angesichts der damit vergleichbaren Schmelztemperatur des Si-Trägermaterials muß die Kristallbildung bei einer niedrigeren Temperatur, möglichst unterhalb von ca. 1350°C, initiiert und bis zu einem ausreichenden Kristallisationsgrad vorgenommen werden. Für Si_3N_4 stehen dabei einige Verfahren zur Verfügung. Den wichtigsten dieser Verfahren ist gemeinsam, daß in den wachsenden Beschichtungsfilm zusätzliche Energie eingebracht wird.

Zu diesen Verfahren gehören u.a. die Beschichtung mit Ionen-

beschluß (vorzugsweise mit Ar-Ionen) bzw. Magnetron-Sputterverfahren, Beschichtungsverfahren in Kombination mit einer Hochfrequenzeinkopplung sowie ein weiteres vorteilhaftes Beschichtungsverfahren, das als HW-CVD-Verfahren (engl. hot wire CVD) oder auch Cat-CVD-Verfahren (engl. catalytic CVD) bezeichnet wird. Einzelheit der verschiedenen Beschichtungsverfahren werden weiter unten näher erläutert.

Nach Anwendung dieser Verfahren ist meist eine z.B. thermische Nachbehandlung erforderlich, um den geringen Kristallisationsgrad (Kristallkeime) auf den erforderlichen Wert zu erhöhen. Dazu wird das beschichtete Substrat auf Temperaturen oberhalb 1000°C für z.T. mehrere Stunden erhitzt.

Diese Vorgehensweise ist aufwendig (für Si als Trägermaterial), kostenintensiv, erfordert z.T. neuartige und damit teuere Beschichtungsanlagen oder gar die Weiterentwicklung bestehender Beschichtungsanlagen.

Eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung mechanisch stabiler dünner Schichten ist der Übergang zu einem anderen Beschichtungsmaterial, das eine niedrigere Kristallbildungstemperatur hat und sich entsprechend dem gleichen, oben beschriebenen Herstellungsverfahren für ein Filterelement verarbeiten lässt. Ein solches Material ist Siliciumcarbid (SiC).

Bei SiC setzt die Kristallbildung schon bei ca. 400°C ein; bei Temperaturen über 1000°C wird bei ausreichend langer Behandlungszeit ein Kristallanteil von über 85% erwartet. Der E-Modul von SiC liegt bei ca. 300 GPa und kann nach einer derartigen Behandlung ca. 370-430 GPa und Biegefestigkeitswerte von über 1000 MPa erreichen. Es können Kristalle mit Abmessungen zwischen wenigen Nanometern, z.B. 5 nm, bis über 50 nm gebildet werden, was für das Ziel der Erhöhung der mechanischen Festigkeit und Hemmung der Rißbildung und Bausbreitung vorteilhaft ist.

Eine weitere Verbesserung läßt sich durch Aufbringen einer (späteren) Membranschicht aus einem Verbund aus z.B. SiC und Si₃N₄ erzielen. Auch mit solchen Verbundsystemen lassen sich Biegefestigkeitswerte von deutlich über 1100 MPa erzielen.

Das Verfahren zur Herstellung des Filterelements besteht aus den folgenden Schritten:

- S1) Aufbringen einer Membranschicht auf ein Trägersubstrat,
- S2) Ätzen einer Membrankammer auf der der Membranschicht gegenüberliegenden Seite des Trägersubstrats, so daß noch eine Restschicht des Trägersubstrats verbleibt,
- S3) Erzeugen von Poren in der Membranschicht mittels eines Lithographie- und Ätzverfahrens zur Schaffung einer perforierten Membran,
- S4) Entfernen der Restschicht durch Ätzen zum Freilegen der Membranschicht,
- S5) wobei die Membranschicht während Schritt S1 oder in einem späteren Schritt einer zusätzlichen Behandlung zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit ausgesetzt wird.

Wie erwähnt, kann die mechanische Belastbarkeit des Membranmaterials (neben einer günstigen Wahl der Geometrie der Membran, die später besprochen wird) durch Verdichtung des Membranmaterials, Erzeugung einer inneren Vorspannung und/oder von Kristallstrukturen im Membranmaterial erhöht werden.

In einem Ausführungsbeispiel wird die erhöhte Festigkeit dadurch erreicht, daß die Membranschicht eine innere mechanische Vorspannung aufweist. Die Membranschicht ist sozusagen mit dieser Vorspannung über der Membrankammer gespannt und kann dadurch höhere Drücke senkrecht zu ihrer Oberfläche aufnehmen.

Die Vorspannung der Membranschicht wird z.B. durch das verwendete Beschichtungsverfahren zur Aufbringung der Membranschicht (aus z.B. Si_3N_4 oder SiC) bestimmt. Besonders geeignet hierfür sind in der Technik bekannte LPCVD-Verfahren ("low pressure chemical vapour deposition"), die bei geringen Prozeßdrücken von 10 bis 100 Pa und Temperaturen im Bereich von ca. $400^{\circ}C$ - $900^{\circ}C$ gefahren werden.

Die innere Vorspannung der Membran reduziert die sog. van-Mises-Spannung in der Membran bei Druckbelastungen der Membran wesentlich; in einem Ausführungsbeispiel um ca. 80% der voreingestellten Membranspannung. Darüber hinaus reduziert die innere Vorspannung der Membran auch die bei Druckbelastungen auftretenden Dehnungen in der Membran. Die Vorspannung der Membran soll größer ca. 10 MPa, vorzugsweise größer 100 MPa sein.

In einem anderen Ausführungsbeispiel weist die Membranschicht Nano- und/oder Mikrokristallstrukturen auf.

Die Erzeugung von Kristallstrukturen kann auf mehreren Wegen erfolgen. Bei vielen Beschichtungsverfahren wird die Beschichtung in praktisch vollkommen amorpher Form auf dem Träger aufgebracht; bei einigen Verfahren können allerdings auch während der Beschichtung zumindest Kristallkeime erzeugt werden, die für eine spätere Behandlung (gemäß Schritt S5) besonders vorteilhaft sind.

Besonders geeignete Beschichtungsverfahren zur Erzeugung dünner Schichten werden zunächst grob in sogenannte CVD- (chemical vapour deposition) und PVD-Verfahren (physical vapour deposition) unterteilt. Bei CVD-Verfahren werden durch chemische Reaktion (z.B. thermische Zersetzung bei hohen Temperaturen) aus der Gasphase dünne Schichten aus einem aus der Gasphase entstandenen Festkörpermaterial auf einem Substrat abgeschieden. Bei CVD-Verfahren ist daher die Existenz gasförmiger Verbindungen Voraussetzung,

so daß diese miteinander reagieren können, wobei eines der Reaktionsprodukte der zur Beschichtung genutzte Stoff ist. Alle anderen Reaktionsprodukte sind gasförmig und können daher leicht abtransportiert werden.

Die CVD-Verfahren lassen sich in weitere spezielle, im Stand der Technik bekannte CVD-Verfahren gliedern, wie z.B. APCV-Prozesse (atmospheric pressure CVD), LPCVD-Prozesse (low pressure CVD) mit Drücken von 10 bis 100 Pa, RPCVD (reduced pressure vapour phase epitaxie) bei Drücken zwischen 1 und 10 kPa, PECVD-prozesse (plasma induced CVD), Laser-induzierte CVD sowie reaktive Varianten der Sputter-Technik und Bedampfungstechnik.

Bei PVD-Verfahren findet die Beschichtung eines Substrats durch Niederschlag eines Dampfes auf dem Substrat statt, wobei der Dampf physikalisch (durch z.B. Verdampfen, Kathodenzerstäubung bzw. Sputtern, Molekularstrahlepitaxie) erzeugt wird. Ein PVD-Prozeß weist im wesentlichen die drei Phasen Erzeugung von Partikel, Transport der Partikel und Abscheidung bzw. Kondensation der Partikel auf dem Substrat auf. Eine wesentliche Eigenschaft von PVD-Prozessen sind die Hochvakua (10^{-8} - 10 Pa), in denen die PVD-Prozesse gefahren werden.

Während der Aufbringung des Membranmaterials kann eine geeignete, zumindest geringe Ausbildung von Kristallstrukturen bzw. Kristallisationskeimen initiiert und gefördert werden.

Bei CVD-Verfahren nimmt mit steigender Träger- bzw. Substrattemperatur bekanntermaßen der Anteil an Kristallstrukturen in der abgeschiedenen Schicht zu (z.B. beim LPCVD-Verfahren bei Temperaturen über 400°C). Bei PECVD-Verfahren kann die Substrattemperatur bis auf ca. 1350°C erhöht und eine kristalline Membranschicht (z.B. aus SiC) mit einem Kristallisationsgrad von über 75%, in besonderen Fällen nahezu

100% geschaffen werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung von zumindest Kristallisationskeimen schon bei der Beschichtung (aber auch danach) ist der Beschuß des Substrats mit Ionen, z.B. Ar-Ionen. Der Ionenbeschuß erfolgt dabei bei Temperaturen von einigen hundert °C. Die auftreffenden Ionen deponieren ihre Energie in den Auftreffstellen. Weitere bekannte Maßnahmen zur Unterstützung der Bildung von Kristallkeimen sind neben dem Ionenbeschuß eine Laserbestrahlung sowie eine Einstrahlung elektromagnetischer Strahlung wie z.B. Radiowellen (z.B. Magnetron-Sputtern bei 13,65 MHz). Dieser beschriebene Eintrag von Energie in das Membranmaterial fördert ebenfalls die Ausbildung von Kristallisationskeimen bei niedrigeren Temperaturen.

Beim HWCVD-Verfahren wird die Entstehung von Kristallisationskeimen im Membranmaterial auch bei niedrigeren CVD-Beschichtungstemperaturen initiiert und deutlich verstärkt. Beim HWCVD-Verfahren erzeugen sehr heiße (Temperatur größer 1800°C) Tantaldrähte in einer Reaktionskammer nahe der zu beschichtenden Oberfläche freie Radikale von Silan (SiH_4) und Ammoniakteilchen (NH_3), die im Beschichtungsmaterial als Kristallisationskeime dienen und zwar auch für eventuelle weitere Behandlungsschritte.

Nach Aufbringung des Membranmaterials auf den Träger kann der kristalline Anteil durch folgende Maßnahmen ebenfalls weiter deutlich erhöht werden:

- a) Sintern unter Druck oder nahezu drucklos
- b) Ionenbeschuß
- c) isostatisches Heißpressen
- d) eine Kombination von a), b) und c).

In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung von Filterelementen wird die auf die Träger-

struktur aufgebrachte (spätere) Membranschicht durch Energieeintrag (z.B. Erhöhen der Temperatur) gesintert. Beispielsweise beginnt im Fall einer Si_3N_4 -Membranschicht bei Temperaturen bei ca. 1450°C Kornwachstum, gefördert durch evtl. schon vorhandene Kristallisationskeime, einzusetzen. Dabei bilden sich längliche Si_3N_4 -Körner, sog. $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$. Die Korngrößen liegen dabei im Bereich von ca. $20\text{--}50\ \mu\text{m}$. Mit steigender Temperatur sowie zunehmender Heizzeit nimmt der $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ -Anteil schnell zu und erreicht oberhalb von ca. 1750°C über 90%. Mit dem Sintervorgang geht aufgrund einer Volumenminderung an den Korngrenzen eine Verdichtung der Si_3N_4 -Schicht einher. Oberhalb von ca. 1500°C kann die Dichte bis zu 90 % des theoretisch möglichen Wertes erreichen.

Während des Sintervorgangs können Sinterhilfsmittel, wie z.B. Al_2O_3 und/oder Y_2O_3 (z.B. jeweils ca. 5 Gew.-%), zugesetzt werden.

In einer anderen Ausführungsform erfolgt die Heizung des $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ mittels elektromagnetischer Strahlung, z.B. Mikrowellen (oberhalb von z.B. 25 GHz) oder Radiowellen. Ein wesentlicher Vorteil des Sinterns mit elektromagnetischer Strahlung ist, daß die Energie nahezu im gesamten Probenvolumen deponiert wird und nicht wie im herkömmlichen Fall mittels Wärmeleitung von der Oberfläche bzw. Kornoberfläche ins Volumen gelangt. Die Sinterhilfsmittel unterstützen die Energieeinkopplung noch. Bei dieser Variante setzt das Kornwachstum verglichen mit dem vorher beschriebenen herkömmlichen Sinterverfahren bei ca. $100\text{--}150^\circ\text{C}$ niedrigeren Temperaturen ein. So beginnt das Kornwachstum hier schon bei ca. 1350°C , und bei ca. 1600°C liegt Si_3N_4 zu über 90% in kristalliner Form vor. Auch die Verdichtung setzt bei entsprechend niedrigeren Temperaturen ein und ist bei einem Maximalwert von über 90% abgeschlossen. Das Strahlungsmaximum liegt vorzugsweise in der Nähe mindestens eines Maximums der Absorptionskurve des Beschichtungsmaterials.

Bei der Ausbildung der kristallinen Phase ist darauf zu achten, daß ein gewisser amorpher Restabteil (von z.B. höchstens 10%) in der Si_3N_4 -Schicht verbleibt, da ansonsten die Körner der β -Phase zu groß werden und letztendlich die Schicht wieder spröde wird.

Wird als Beschichtungsmaterial für die spätere Membranschicht SiC gewählt, kann der Sintervorgang bei deutlich niedrigeren Temperaturen (auch unterhalb 1400°C) mit einer ausgeprägten Bildung von Kristallkörnern durchgeführt werden. Es ist davon auszugehen, daß schon bei Temperaturen ab 900°C ein Kristallisationsgrad von mindestens 10% erreicht wird. Eine längere Sinterzeit trägt ebenfalls zu höheren Kristallisationsgraden bei. Damit kann eine mechanisch hochstabile Membranschicht auch auf einer Trägerstruktur aus Silicium erzeugt werden.

Der Effekt eines derartigen Sintervorgangs auf die mechanische Festigkeit der Membranschicht ist u.a. einer deutlichen Erhöhung der Zugfestigkeit. Für nicht gesintertes Si_3N_4 liegt z.B. die Zugfestigkeit bei 500-600 MPa, während sie nach dem Sintern über 1100 MPa beträgt. Dies erklärt die deutliche Erhöhung der Druckstabilität der Membranschicht.

In einer weiteren Ausführungsform kann durch z.B. isostatisches Heiß-Pressen die Membranschicht weiter verdichtet werden. Der Preßvorgang wird z.B. bei Temperaturen von über 750°C und Drücken von über 100 bar durchgeführt. Dieser Prozeß kann auch nach einer Sinterbehandlung erfolgen. Die Kornstrukturen bleiben dabei nahezu unverändert, jedoch nimmt die Porosität deutlich ab, und die Zugfestigkeit kann auf Wert von über 1100 MPa ansteigen.

Die beschriebenen Sinterbehandlungen können entweder vor oder nach der Strukturierung (Ausbildung der Poren) der Membranschicht vorgenommen werden.

Das isostatische Heiß-Pressen wird an der nicht strukturierten Membranschicht durchgeführt.

Die Dicke der Membran ist kleiner 50 μm , vorzugsweise kleiner 1 μm .

Die Porendurchmesser sind kleiner 50 μm und vorzugsweise kleiner 1 μm . Eine "Elementarzelle" (= eine Flächeneinheit der Membran mit einer Pore) hat eine Fläche größer/gleich (Porendurchmesser)².

Die wesentlichen Eigenschaften des Filterelements sind:

- eine relativ dünne freitragende Membran mit kleinem Aspektverhältnis (Membrandicke : Porendurchmesser) [-> hoher Durchsatz] sowie
- eine relativ hohe mechanische Festigkeit bzw. Druckstabilität.

Hierfür sind folgenden Verfahrensschritte entscheidend:

- das Ätzen in mehreren Schritten, wobei für die Ausbildung der Poren in der Membranschicht eine Restschicht der Trägerstruktur (hier z.B. Si-Schicht) vorerst stehengelassen wird und diese erst nach der Porenbildung (mit oder ohne Zwischenstützstrukturen) entfernt wird sowie
- die Ausbildung einer kristallinen Struktur des Membranschichtmaterials, was die Rißbildung bzw. das Rißwachstum stark hemmt und die Zugfestigkeit sehr erhöht. Dies geschieht außer durch eine geeignete Wahl der Verfahrensparameter für die Beschichtungsprozesse (Temperatur, Verfahrensdruck usw.) durch Sinterprozesse und/oder isostatisches (Heiß-) Pressen. Hierbei ist noch anzumerken, daß u.U. die oder weitere Sinterschritte auch nach der Porenbildung in der Membran durchgeführt werden können.

Die innere Vorspannung der Membran reduziert die interne van-Mises-Vergleichsspannung und damit Biegebelastungen in der Membranschicht (in einigen Modelfällen um ca. 300 MPa). Für die Herstellung unserer Filterelemente ist zunächst die Ausbildung kristalliner Strukturen entscheidend. Eine gewisse geringe Vorspannung in der Membranschicht ist (1) bei freitragender Membran notwendig (zu deren "Straffung") und (2) je nach Verfahrensparameter der Beschichtungsprozesse eine nützliche "Begleiterscheinung" (oft ca. 100 MPa oder höher).

Es ist zu erwähnen, daß der Schritt (nach dem Ausbilden der Poren in der Membranschicht), bei dem die Restschicht der Si-Trägerstruktur entfernt wird, nicht nur (wie bisher beschrieben) durch einen weiteren Ätzangriff von der Rückseite (der Seite der Trägerstruktur), sondern auch durch die ausgebildeten Poren von der Membranseite aus durchgeführt werden kann. Hierbei findet dann unterhalb der perforierten Membranschicht eine Unterätzung statt, bei der die Restschicht entfernt und somit die perforierte Membran freigelegt wird. Die hierfür genutzten Ätzmittel sollen die Membranschicht natürlich nicht angreifen. In Frage kommen hierfür u.a. Trockenätzprozesse mit z.B. SF_6 , $CCl_2F_2 + O_2$, NF_3 und Mischungen von isotrop und anisotrop ätzenden Stoffen.

Durch das Si-Tiefenätzen werden Membrankammern geschaffen, die von je einer freitragenden Membran überspannt werden. Die Umfangsform der Membrankammern ist grundsätzlich nicht beschränkt. So sind quadratische, rechteckige, rautenförmige Konturen etc. der Membrankammern herstellbar. Allerdings sind die Abmessungen der Membrankammern durch die allgemeine Stabilität des gesamten Filterelements bestimmt, die im wesentlichen durch die Si-Trägerstruktur gegeben ist.

Bei geeigneter Wahl des Si-Substrats können die Flanken der Membrankammern (im Querschnitt betrachtet) senkrecht (z.B. (110)-Si) oder schräg (z.B. (100)-Si) ausgebildet

werden.

Festigkeitsuntersuchungen zeigen auch, daß die Druckbelastbarkeit der Membran im wesentlichen von nur einer Seitenlänge der Membran beeinflußt wird. Daher werden in einer bevorzugten Ausführungsform die Membrankammern als lange Schlitze ausgebildet, da vor allem die kleine Seitenlänge die Druckstabilität und das Bruchverhalten der Membran beeinflußt. Die Spannweiten in dieser Richtung liegen in einer Ausführungsform vorzugsweise in der Größenordnung von etwa 100 μm . Die große Seitenlänge ist im wesentlichen - mit Ausnahme der allgemeinen Stabilität des gesamten Filterelements - nicht beschränkt. So kann sich die schlitzförmige Membrankammer im Prinzip bis über die gesamte Länge des Filterelements erstrecken, was zur Porosität des Filterelements positiv beiträgt.

In weiteren Ausführungsformen kann das Si-Tiefenätzen in mehr als zwei Schritten durchgeführt werden, um z.B. bei größeren Membranspannweiten und/oder höherer Porosität Zwischenstützstrukturen einzubauen. Dabei kann im ersten Schritt des Si-Tiefenätzens eine größere Grundfläche der späteren Membrankammer strukturiert bzw. geätzt werden, wobei auch hier wieder eine Restschicht des Si-Trägermaterials zunächst stehengelassen wird. In einem möglichen Verfahren wird nun wie beschrieben die Membran auf der Vorderseite gebildet. Anschließend wird die Restschicht des Si-Trägers auf der Rückseite mit einer Maskenschicht (z.B. Photolack) beschichtet, die danach durch entsprechende Lithographie-Verfahren strukturiert wird. Die so geschaffene Struktur in der Maskenschicht wird im Anschluß daran genutzt, um die durch die strukturierte Maskenschicht zugängliche Restschicht des Si-Trägers durch Ätzung zu entfernen. Die durch die strukturierte Maskenschicht vor der Ätzung geschützten Teile der Restschicht des Si-Trägermaterials bilden nun Zwischenstützstrukturen, die die Stabilität der Membran in der größeren Membrankammer verbessern. Durch

diese Ausführungsform kann die Porosität des Filterelements (durch Vergrößerung der Membrankammerfläche) erheblich gesteigert werden.

Dieses Mehrschrittverfahren zur Si-Tiefenätzung kann nach Bedarf gemäß dem gleichen Prinzip auf mehr als die hierin beschriebenen zwei oder drei Ätzschritte ausgedehnt werden. Das Ausführen des ersten Schritts der Si-Tiefenätzung vor der Herstellung der Membran verbessert die Parallelisierbarkeit des Fertigungsprozesses für das Filterelement und damit die Wirtschaftlichkeit.

Ein weiterer Vorteil des Mehrschrittverfahrens für die Si-Tiefenätzung ist, daß die vorübergehend vorhandene Restschicht des Si-Trägermaterials die Spannungen in der Membran gut aufnehmen und ableiten kann, was insbesondere bei Membranschichten mit innerer Vorspannung und/oder z.B. bei Vorhandensein von zusätzlichen temporär vorhandenen Zwischenschichten (z.B. metallische Opferschichten, wie NiCr, Cu usw.) von Bedeutung ist. Darüber hinaus nimmt diese Restschicht in der Membranschicht temporär auftretende Spannungen auf, die bei der Porenbildung in der Membran entstehen können, da bei der Porenätzung nicht alle Poren gleichzeitig geöffnet werden. Außerdem verbessert die Restschicht die Handhabbarkeit der gesamten Filterelementstruktur während der Filterherstellung. All dies reduziert den Ausschuss erheblich.

Ein weiterer Vorteil (neben u.a. der Parallelisierbarkeit des Prozeßschritts) einer rückseitigen Ätzung vor Ausbildung der Poren in der Membran ist, daß auf diese Weise verhältnismäßig einfach eine Hierarchie von Zwischenstützen geschaffen werden kann.

Beim letzten Ätzschritt zum Freilegen der perforierten Membranschicht wird die Membranseite des Filterelements in der Regel vor dem Ätzmittel geschützt. Dies geschieht

z.B. durch die Verwendung einer sogenannten "Ätzdose", welche die Vorderseite (= Membranseite) der Struktur bedeckt. Eine andere Möglichkeit ist, die Vorderseite mit der perforierten Membran durch ein Mittel, wie z.B. Al, zu bedecken, das auch zumindest teilweise die Poren füllt. Dadurch wird z.B. verhindert, daß bei letzten Ätzschritt entstehender Wasserstoff die Membranschicht zerstört oder die ausgebildete Membranschicht vom Ätzmedium angegriffen und verändert wird. Der Druck von Wasserstoff oder allgemein einer Gasblase in Poren mit einem Durchmesser d genügt der Faustformel $P \cong 3,5 \text{ bar} / d_{1\mu\text{m}}$, d.h. bei $d = 1$ herrscht in der Pore ein Druck von ca. 3,5 bar, bei $d = 0,5$ ein Druck von 7 bar! Auch diese Maßnahme senkt den Ausschuß bei der Herstellung der Filterelemente erheblich.

Im folgenden wird nun eine Ausführungsform des Verfahrens zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Filterelements beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 einen Querschnitt eines Membranelements nach dem ersten Verfahrensschritt;
- Fig. 2 einen Querschnitt eines Membranelements nach dem zweiten Verfahrensschritt;
- Fig. 3 einen Querschnitt eines Membranelements nach dem dritten Verfahrensschritt;
- Fig. 4 einen Querschnitt eines Ausführungsbeispiels nach dem dritten und vor dem vierten Verfahrensschritt des Anspruchs 1; und
- Fig. 5 einen Querschnitt des Ausführungsbeispiels nach dem vierten Verfahrensschritt.

Im ersten Verfahrensschritt wird gemäß Fig. 1 eine Membranschicht 1 auf eine Trägerschicht 2 aufgebracht. Die Trägerschicht 2 ist dabei beispielsweise ein Si-Substrat. Das Aufbringen der Membranschicht 1, die beispielsweise aus Si_3N_4 , SiC oder einer Kombination dieser Stoffe besteht, erfolgt vorzugsweise mittels CVD-Verfahren (wie z.B. LPCVD

oder PECVD) oder PVD-Verfahren (wie z.B. Sputtern). Im dargestellten Ausführungsbeispiel erfolgt dies einseitig. Es kann aber auch zweiseitig erfolgen. Die Dicke der Membranschicht kann beispielsweise 500 nm oder mehr betragen. Die Trägerschicht 2 kann ein herkömmlicher Si-Wafer sein, wie er aus der Halbleiterindustrie bekannt ist.

Im zweiten Schritt wird gemäß Fig. 2 auf der Rückseite, also der gegenüberliegenden Seite der Trägerschicht, ein Si-Tiefenätzen durchgeführt. Hierzu wird zunächst die Rückseite mit einer Resistorschicht (z.B. einem bekannten Photolack) beschichtet, die anschließend vorzugsweise mit Hilfe von Photolithographie strukturiert wird. Mittels z.B. RIE-Trockenätzen wird die Struktur in der Resistorschicht in die darunter liegende Schicht übertragen. Im Fall beidseitig (mit Si_3N_4 oder SiC) beschichteter Substrate ist dies die Si_3N_4 - oder SiC-Beschichtung, die auf der gegenüberliegenden Seite vorhanden ist. Nach der Übertragung der Resiststruktur in die rückseitige Beschichtung schließt sich das eigentliche Si-Tiefenätzen mit z.B. NaOH (NaOH-Naßätzen z.B. bei 80°C; Ätzzeit ca. 7-8 Stunden) an. Ist das Substrat nur einseitig (auf der Seite der Membran) beschichtet, erfolgt die NaOH-Naßätzen unmittelbar nach der Resiststrukturierung. Dieses naßchemische Ätzen zeigt eine starke Richtungsabhängigkeit der Ätzraten in Bezug auf die Kristallrichtung des Substrats. Sog. {111}-Flächen werden ca. 100-mal langsamer geätzt als andere Flächen, was bei einem (100)-Si-Wafer schräge Flanken 4 mit einem Winkel α von 54,76° bei (100)-Si liefert. Bei (110)-Si sind die Flanken steiler, d.h. im wesentlichen vertikal. Die Ätzrate liegt bei ca. 1 μm / Minute. Dieser Ätzschritt wird in einer Ausführungsform bei einer Restdicke der Si-Trägerschicht von ca. 30 μm gestoppt, so daß eine Restschicht 5 stehen bleibt. Bei diesem Schritt dünnnt sich übrigens die Beschichtung (Si_3N_4 oder SiC) ab auf z.B. ca. 600-800 nm.

Im dritten Hauptschritt (S3) wird zunächst eine sog. metallische Opferschicht, wie z.B. NiCr, Cu etc., in einer Dicke von der Größenordnung 150 nm aufgebracht, die bei der Strukturierung der eigentlichen Membranschicht (Si_3N_4 - oder SiC-Schicht) als Ätzmaske dienen wird. Zur Verbesserungen der Justierbarkeit des gesamten Wafers kann dann z.B. Gold (Au) aufgetragen und photolithographisch und naßchemisch - wie bekannt - z.B. zu Kreuzen oder ähnlichen Markierungen strukturiert werden. Diese Markierungen weisen ein hohes Kontrastvermögen auf, wodurch der Wafer besser positioniert werden kann. In der üblichen Weise wird nun eine aufgebrachte, z.B. ca. 500 nm dicke getemperte Lackschicht lithographisch zu dem gewünschten Porenmuster strukturiert.

Die Übertragung des Porenmusters in die Membranschicht (aus z.B. Si_3N_4 oder SiC) erfolgt in einer Ausführungsform in zwei Trockenätz-Schritten: im ersten Teilschritt (S3-1) wird mittels z.B. Ar-IBE (Ar Beam Ion Etching) die Lackstruktur in die metallische Opferschicht übertragen und im zweiten Teilschritt (S3-2) wird z.B. mittels ECR-RIE (Ätzgas z.B. CF_4/O_2) die Porenstruktur in der metallischen Opferschicht in die Membranschicht übertragen (vgl. Fig. 3). Je nach apparativen oder sonstigen Verfahrensgegebenheiten können andere bekannte Ätztechniken genutzt werden.

Im vierten Hauptschritt (S4) wird nun das rückseitige Si-Tiefenätzen abgeschlossen, d.h. die Restschicht 5, die in diesem Fall ca. 30 μm beträgt, wird entfernt, um die Membranschicht 3 von unten freizulegen. Dabei kann zunächst die restliche metallische Opferschicht aus dem Hauptschritt S3 entfernt werden, um die Einleitung etwaiger Spannungen von dieser Opferschicht in die Membran zu vermeiden. Dieser Si-Tiefenätzschritt wird z.B. mit TMAH (Tetramethylammoniumhydroxid) bei ca. 80°C und in einer Ätzspanne von ca. 1 Stunde durchgeführt, weil TMAH die Membranschicht weniger angreift als NaOH. Andere bekannte Ätzverfahren sind natürlich ebenfalls anwendbar.

Bei Porendurchmessern unterhalb ca. 1 μm kann die auftretende Gasbildung bei diesem Ätzschritt zum Zerreißen der Membran führen. Daher wird in einer Ausführungsform die Membran mit Hilfe einer sog. "Ätzdose" vor dem Ätzmedium geschützt. Hierzu wird die Membranseite des Wafers dicht mit einem z.B. pertrischalenartigen Behälter verbunden. In einer weiteren Ausführungsform werden die Poren mit einem Material, wie z.B. Al, verfüllt (und dabei auch die Vorderseite der Membran bedeckt), um das Zerreißen durch Gasbildung zu vermeiden. Nach Beendigung des Si-Tiefenätzens wird dieses Material, z.B. durch ein anderes Ätzverfahren, sonstige chemische Behandlung oder z.B. einfaches Erhitzen, von der Vorderseite der Membran und aus den Poren entfernt.

Während des ersten Schrittes S1 oder bei einem späteren Schritt wird die Membranschicht einer separaten Behandlung (nämlich einer Druck-, Ionenbeschuß- und/oder Wärmebehandlung) unterzogen. Vorzugsweise erfolgen die Ionenbeschuß- und/oder Wärmebehandlung gleichzeitig mit dem Aufbringen der Membranschicht, also im Schritt S1, oder zu einem späteren Zeitpunkt, wie beispielsweise erst nach dem Schritt S4. Isostatisches Heiß-Pressen wird vorzugsweise zwischen den Schritten S1 und S2 ausgeführt.

Zum Abschluß werden die auf dem Wafer noch vereinigten Filterelemente, z.B. durch übliches Sägen oder Brechen, entlang vorher durch z.B. Ätzung geschaffenen Bruchkanten (Sollbruchstellen) vereinzelt.

Die Membrankammern 3 können - wie schon erwähnt - von der Rückseite aus betrachtet viele verschiedene Konturen aufweisen. In einer bevorzugten Ausführungsform hat die Membrankammer die Form eines langen Schlitzes, der zum größten Teil von einer Membran überspannt wird. Ein Kammerschlitz hat in einer Ausführungsform z.B. eine Länge von ca. 2100 μm und eine Breite von 100 μm .

Um die Porosität bzw. Memranfläche pro Filterelement zu erhöhen, können gemäß einer Ausführungsform Hauptmembrankammern größerer Breite ($> 100 \mu\text{m}$) geschaffen werden, indem in Abständen von ca. $100 \mu\text{m}$ kleinere Zwischenstützen 8 eingefügt werden. Dies kann geschehen, indem der Schritt S2 über eine größere Fläche durchgeführt wird. Danach wird dieses Si-Tiefenätzen gestoppt, diese Restschicht, die auch eine größere Dicke als die oben genannten $30 \mu\text{m}$ aufweisen kann, wiederum geeignet (mit oder ohne eine dünne metallische Opferschicht) strukturiert wird usw. Dies kann im Prinzip mehrfach wiederholt werden (Schritte S2-i, $i = 1 \dots n$), um zunehmend komplexer gestaltete Zwischenstützen zu erzeugen. Es ist jedoch vorzuziehen, daß aus den schon genannten Gründen vor Ausbildung der Poren 6 stets eine Restschicht 5 bestehen bleibt, die erst zuletzt entfernt wird.

Aufgrund der besonderen Festigkeit einer SiC-Membranschicht kann bei in etwa gleichem Aspektverhältnis (statt $0,45 \mu\text{m}$ Porendurchmesser : $0,80 \mu\text{m}$ Membrandicke beispielsweise $0,2 \mu\text{m}$ (oder kleiner) : $0,4 \mu\text{m}$ (oder kleiner)) eine Membran mit Porendurchmessern $< 0,4 \mu\text{m}$ einfacher und mit guter Ausbeute erzeugt werden.

Aufgrund der guten Festigkeit einer SiC-Membranschicht kann u.U. in Schritt S2 auf die Restschicht 5 verzichtet werden, da die hochfeste SiC-Schicht die bei einer Porenätzung entstehenden Spannungen ohne Schaden aufnehmen kann. Damit entfällt Schritt S4, was das Verfahren zur Herstellung eines Filterelements vereinfacht, verkürzt und verbilligt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Filterelements mit den folgenden Schritten:
 - S1) Aufbringen einer Membranschicht auf ein Trägersubstrat,
 - S2) Ätzen einer Membrankammer auf der der Membranschicht gegenüberliegenden Seite des Trägersubstrats, so daß noch eine Restschicht des Trägersubstrats verbleibt,
 - S3) Erzeugen von Poren in der Membranschicht mittels eines Lithographie- und Ätzverfahrens zur Schaffung einer perforierten Membran,
 - S4) Entfernen der Restschicht durch Ätzen zum Freilegen der Membranschicht,
 - S5) wobei die Membranschicht während Schritt S1 oder in einem späteren Schritt einer zusätzlichen Behandlung zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit ausgesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die behandelte Membranschicht einen kristallinen Anteil von mindestens 25% aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Membranschicht mittels eines chemischen Dampfabscheideverfahrens (CVD-Verfahren) auf ein Trägersubstrat aufgebracht wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Membranschicht mittels eines physikalischen Dampfabscheideverfahrens (PVD-Verfahren) auf ein Trägersubstrat aufgebracht wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,
daß die Membranschicht aus einem keramischen Material besteht.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,
daß die Membranschicht aus einer Nichtoxidkeramik besteht.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,
daß die Membranschicht aus einer nitridischen Nichtoxidkeramik besteht.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,
daß die Membranschicht aus Si_3N_4 besteht.
9. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,
daß die Membranschicht aus einer carbidischen Nichtoxidkeramik besteht.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,
daß die Membranschicht aus SiC besteht.
11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß schon im Schritt S1 Kristallkeime in der Membranschicht erzeugt werden.
12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß in Schritt S1 und/oder S5 die Struktur aus Trägerschicht und Membranschicht zur Erhöhung des kristallinen Anteils in der Membranschicht einer Temperaturbehandlung unterzogen (insbesondere erhitzt) wird.
13. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,
daß in Schritt S5 die Struktur aus Trägerschicht und Membranschicht zur Erhöhung des kristallinen Anteils in der Membranschicht isostatisch heißgepreßt wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in Schritt S1 oder S5 der Membranschicht eine innere Vorspannung verliehen wird.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Behandlung zur Erhöhung der mechanischen Belastbarkeit eine Temperaturbehandlung ist, die beim Aufbringen der Membranschicht in einem Temperaturbereich von ca. 200°C bis 2000°C und bei einem Prozeßdruck von ca. 5 Pa - 100 Pa durchgeführt wird.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Temperaturbehandlung ein Sintern bei Temperaturen oberhalb ca. 900°C ist.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperaturbehandlung mittels elektromagnetischer Strahlung im Radio- oder Mikrowellenbereich durchgeführt wird.
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrowellen im Frequenzbereich oberhalb 25 GHz liegen, vorzugsweise in einem Frequenzbereich, bei dem das Material der Membranschicht ein Maximum seiner Absorptionskurve hat.
19. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt einer Temperaturbehandlung ein isostatisches Heißpressen beim Temperaturen oberhalb ca. 750°C und Drücken oberhalb ca. 100 bar umfaßt.
20. Verfahren nach Anspruch 13 und/oder Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet,

daß der Schritt des isostatischen Heißpressens zeitlich vor dem Schritt S3 nach Anspruch 1 durchgeführt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Membranschicht nach Schritt S3 von Anspruch 1 gegenüber Ätzmittel geschützt wird.
22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Membranschicht durch eine feste Abdeckung geschützt wird.
23. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Membranschicht durch ein Beschichtungsmaterial geschützt wird, welches nach Schritt S4 von Anspruch 1 wieder entfernt wird.
24. Filterelement mit einer Membranschicht (1) und einer Trägerschicht (2), wobei die Membranschicht (1) eine Vielzahl von Perforationen (6) aufweist, dadurch gekennzeichnet,
daß in der Trägerschicht (2) eine Membrankammer (3) freigelegt ist,
daß die Membranschicht (1) die Membrankammer (3) überspannt und
daß die Membranschicht (1) eine verdichtete und/oder mindestens partiell kristalline Struktur mit einer gegenüber dem Ausgangsmaterial erhöhten Festigkeit aufweist.
25. Filterelement nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die erhöhte Festigkeit der Membranschicht (1) durch eine innere mechanische Vorspannung erzeugt wird.
26. Filterelement nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Membranschicht (1) Mikro- und/oder Nano-Kristallstrukturen aufweist und/oder verdichtet ist.

27. Filterelement nach einem der Ansprüche 24 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß das Trägersubstrat (2) mehrere Membrankammern (3) aufweist, die jeweils von ein und derselben Membranschicht (1) überspannt sind.
28. Filterelement nach einem der Ansprüche 24 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Membrankammer (3) in Draufsicht viereckig ist.
29. Filterelement nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Membrankammer (3) in Draufsicht die Form eines Schlitzes hat, dessen Länge mindestens das Doppelte von dessen Breite beträgt.
30. Filterelement nach einem der Ansprüche 24 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß zwei einander gegenüberliegende Flanken (4) der Membrankammer (3) unter einem Winkel von kleiner gleich 90° zur Membranebene verlaufen.
31. Filterelement nach einem der Ansprüche 24 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß für einen Quotienten aus Dicke D der Membran und Porendurchmesser P folgende Beziehung gilt: $0,01 < D/P < 100$, wobei für die Dicke D der Membran gilt: $0,01 \mu\text{m} < D < 100 \mu\text{m}$.
32. Filterelement nach einem der Ansprüche 24 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Poren im wesentlichen kreisförmig sind und einen Durchmesser in der Größenordnung zwischen $0,01 \mu\text{m}$ und $100 \mu\text{m}$ aufweisen.
33. Filterelement nach einem der Ansprüche 24 bis 32, dadurch gekennzeichnet,

daß die Membranschicht (1) auf ihrer zur Membrankammer (3) weisenden Seite an mindestens einer Zwischenabstützung (8) aufliegt, deren Dicke kleiner ist als die Dicke des Trägersubstrats.

34. Filterelement nach einem der Ansprüche 24 bis 33, dadurch gekennzeichnet,
daß sich die Membrankammer (3) im wesentlichen über die gesamte Fläche des Filterelements erstreckt.
35. Filterelement nach einem der Ansprüche 24 bis 34, dadurch gekennzeichnet,
daß das Trägersubstrat aus der Gruppe folgender Stoffe ausgewählt ist: Si, SiC, Titanoxide und andere Titanverbindungen, Magnesiumoxid, Zirkoniumoxid, Nickel, Chrom, Ni-Chrom-Verbindungen, Al_2O_3 , Yttriumverbindungen und daß die Membranschicht aus Si_3N_4 , SiC, einer Kombination beider Stoffe oder einer anderen Siliciumkeramik besteht.

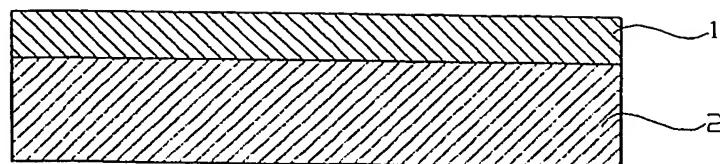


Fig. 1

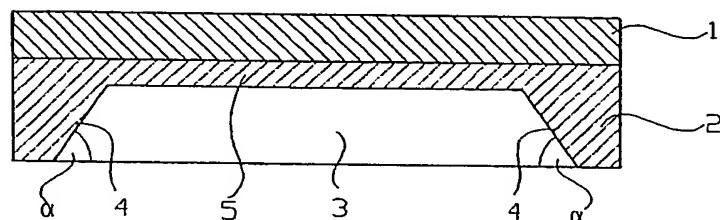


Fig. 2

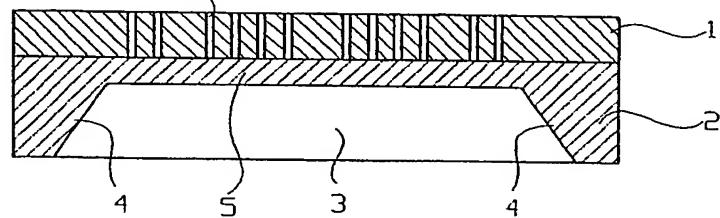


Fig. 3

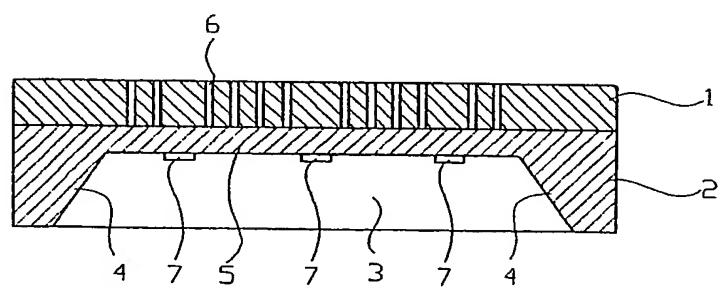


Fig. 4

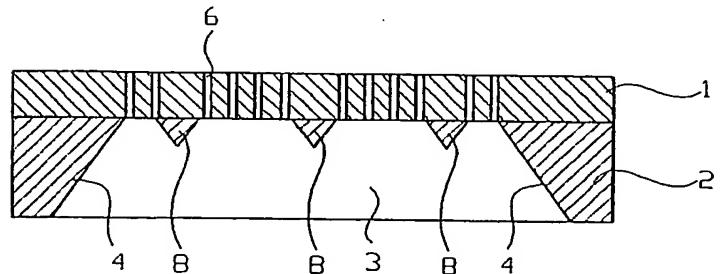


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/007262

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B01D71/02 B01D67/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 879 635 A (KONINKL GROLSCHE N V) 25 November 1998 (1998-11-25) column 4, line 43 – column 5, line 7 column 5, line 47 – column 6, line 52; figures 1,2 -----	1,3,5-8, 24-32
X	WO 01/36321 A (UNIV CALIFORNIA) 25 May 2001 (2001-05-25) page 4, line 8 – page 7, line 28; figures 1-9 -----	1,3,5-8, 12,15, 21, 24-27, 29-32,34
X	US 5 753 014 A (VAN RIJN CORNELIS JOHANNES MAR) 19 May 1998 (1998-05-19) column 7, line 60 – column 11, line 51; figures -----	24-32
		-/-

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 November 2004

Date of mailing of the international search report

10/12/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Semino, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/007262

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	WO 03/068373 A (ABBOTT LAB) 21 August 2003 (2003-08-21) abstract page 5, line 24 – page 10, line 11; figure 2 & US 2003/150791 A1 (CHRISTIANSON HARLOW B ET AL) 14 August 2003 (2003-08-14) ----- CH 678 403 A (SULZER AG) 13 September 1991 (1991-09-13) column 1, lines 49-56 -----	1, 5-7, 24-26, 28-32
A		3, 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/007262

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
EP 0879635	A	25-11-1998	NL EP	1006118 C2 0879635 A1	25-11-1998 25-11-1998
WO 0136321	A	25-05-2001	AU EP JP WO US	1778101 A 1233927 A1 2003514677 T 0136321 A1 2003205552 A1	30-05-2001 28-08-2002 22-04-2003 25-05-2001 06-11-2003
US 5753014	A	19-05-1998	NL NL AU EP WO	9301971 A 9401260 A 1414095 A 0728034 A1 9513860 A1	01-06-1995 01-06-1995 06-06-1995 28-08-1996 26-05-1995
WO 03068373	A	21-08-2003	US CA EP WO US	2003150791 A1 2475800 A1 1471991 A2 03068373 A2 2004154972 A1	14-08-2003 21-08-2003 03-11-2004 21-08-2003 12-08-2004
US 2003150791	A1	14-08-2003	CA EP WO US	2475800 A1 1471991 A2 03068373 A2 2004154972 A1	21-08-2003 03-11-2004 21-08-2003 12-08-2004
CH 678403	A	13-09-1991	CH	678403 A5	13-09-1991

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/007262

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 B01D71/02 B01D67/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 B01D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 879 635 A (KONINKL GROLSCH N V) 25. November 1998 (1998-11-25) Spalte 4, Zeile 43 - Spalte 5, Zeile 7 Spalte 5, Zeile 47 - Spalte 6, Zeile 52; Abbildungen 1,2 -----	1,3,5-8, 24-32
X	WO 01/36321 A (UNIV CALIFORNIA) 25. Mai 2001 (2001-05-25) Seite 4, Zeile 8 - Seite 7, Zeile 28; Abbildungen 1-9 -----	1,3,5-8, 12,15, 21, 24-27, 29-32,34
X	US 5 753 014 A (VAN RIJN CORNELIS JOHANNES MAR) 19. Mai 1998 (1998-05-19) Spalte 7, Zeile 60 - Spalte 11, Zeile 51; Abbildungen -----	24-32
		-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld G zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

'A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

'E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

'L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen, im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

'O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Aussicht oder andere Maßnahmen bezieht

'P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

'T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

'X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

'Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

'& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

26. November 2004

10/12/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL-2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Semino, D

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/007262

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
P, X	<p>WO 03/068373 A (ABBOTT LAB) 21. August 2003 (2003-08-21)</p> <p>Zusammenfassung Seite 5, Zeile 24 – Seite 10, Zeile 11; Abbildung 2 & US 2003/150791 A1 (CHRISTIANSON HARLOW B ET AL) 14. August 2003 (2003-08-14)</p> <p>-----</p> <p>CH 678 403 A (SULZER AG) 13. September 1991 (1991-09-13) Spalte 1, Zeilen 49-56</p> <p>-----</p>	1, 5-7, 24-26, 28-32
A		3, 4

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/007262

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0879635	A	25-11-1998	NL EP	1006118 C2 0879635 A1		25-11-1998 25-11-1998
WO 0136321	A	25-05-2001	AU EP JP WO US	1778101 A 1233927 A1 2003514677 T 0136321 A1 2003205552 A1		30-05-2001 28-08-2002 22-04-2003 25-05-2001 06-11-2003
US 5753014	A	19-05-1998	NL NL AU EP WO	9301971 A 9401260 A 1414095 A 0728034 A1 9513860 A1		01-06-1995 01-06-1995 06-06-1995 28-08-1996 26-05-1995
WO 03068373	A	21-08-2003	US CA EP WO US	2003150791 A1 2475800 A1 1471991 A2 03068373 A2 2004154972 A1		14-08-2003 21-08-2003 03-11-2004 21-08-2003 12-08-2004
US 2003150791	A1	14-08-2003	CA EP WO US	2475800 A1 1471991 A2 03068373 A2 2004154972 A1		21-08-2003 03-11-2004 21-08-2003 12-08-2004
CH 678403	A	13-09-1991	CH	678403 A5		13-09-1991